6 / 有益微生物與拮抗植物

林宗俊、羅朝村、石信德、黃鴻章、顏志恆

植物病害生物防治的概念為「在自然或人為操控的環境下，利用一種或多種拮抗微生物有效降低病原菌的密度、活力及毒性，進而達到防治植物病害的目的」。有益微生物包括具有抑制植物病原、線蟲及農業害蟲的拮抗微生物外，某些則具有 (或兼具) 促進土壤營養元素的吸收利用或增進作物生長的功效。另外利用萬壽菊、孔雀草及天人菊等對植物病原線蟲具有拮抗與忌避能力，利用輪作或間作方式即可有效地降低植物病原線蟲的危害。應用有益微生物防治作物病害對生態環境十分友善，本文主要在介紹有益微生物的種類、防病機制、生物農藥、生物刺激素的施用技術及成功實例。

有益微生物的種類

在自然生態環境下，微生物間本就存在著一些相互的生態關係，包括共生 (symbiosis) 與非共生。共生如依存的互利共生 (mutualism)、片利共生 (commensalism) 或寄生 (parasitism)；非共生如協同作用 (synergism) 與拮抗作用 (antagonism)；人類可利用的有益微生物，包括對作物「直接有利」具有互利共生、片利共生或協同作用之微生物；或者「間接有利」具有抑制病原菌之微生物 (圖 1) 或誘導植物抗性 (induced resistance) 之微

生物等。目前國內外常用或已商品化之微生物有菌根菌 (mycorrhizae)、根瘤菌 (*Rhizobium* spp.)、溶磷菌、農桿菌 (*Agrobacterium radiobacter*)、枯草桿菌 (*Bacillus* spp.)、放線菌 (*Streptomyces* spp.)、螢光假單胞細菌 (fluorescent Pseudomonads)、白粉寄生菌 (*Ampleomyces quisqualis*)、芽孢酵母菌 (*Candida oleophila*)、微坦盾殼黴 (*Coniothyrium minitans*)、腐生鐮孢菌 (*Fusarium oxysporum*)、木黴菌 (*Trichoderma* spp.) 等。

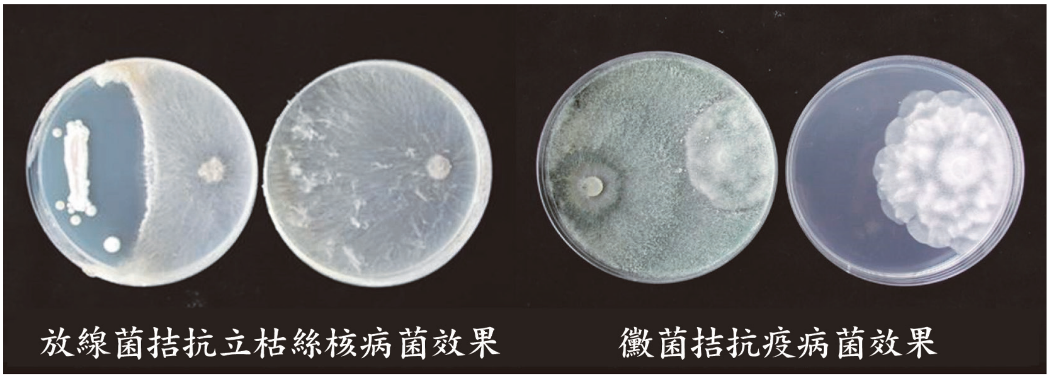

圖 1. 拮抗微生物之抑菌效果。

應用於植物保護之微生物

微生物在臺灣的田間實驗案例，有屏東科技大學以木黴菌 (*Trichoderma koningii*) 粉衣紅豆種子防治紅豆根腐病 (*Fusarium solani*)。臺灣大學報告利用枯草桿菌 (*Bacillus subtilis*) 粉劑處理菊花扦插苗可減輕菊花莖腐病 (*Rhizoctonia solani*)，而液化澱粉芽孢桿菌 (*B. amyloliquefaciens* 可以防治百合灰黴病 (*Botrytis elliptica*)。農業試驗所及虎尾科技大學發現木黴菌 (*T. harzianum*, *T. atroviride*, *T. virens*) 可有效防治康乃馨根腐病 (*R. solani*)、香瓜蔓枯病 (*Didymella bryoniae*)、甘藍立枯病 (*R. solani* AG-4)、甜椒疫病 (*Phytophthora capsici*) (圖 2) 以及促進植株生長。同樣的，中興大學亦報告枯草桿菌 (*B. subtilis*) 可防

治木瓜炭疽病 (*Colletotrichum gloeosporioides*)，放線菌 (*Streptomyces saraceticus*) 可防治柑桔裾腐病(*P. citrophthora*)、*S. padanus* 防治甘藍立枯病(*R. solani* AG-4)、番茄晚疫病 (*P. infestans*) 及青蔥疫病 (*P. nicotianae*)(圖 3)。

圖 2. 田間施用木黴菌植物保護製劑防治甜椒疫病效果。

圖 3. 田間施用鏈黴菌 (*Streptomyces padanus*) 植物保護製劑防治青蔥疫病效果。

生物農藥泛指可作為植物保護用之生物資材，包括動物、植物、微生物及其所衍生之產品。國內目前已登記用於病害防治的商品化產品 (表 1) 如農眾賀® (液化澱粉芽孢桿菌)、治黃葉® (蕈狀芽孢桿菌)、台灣寶® (枯草桿菌)、強強菌® (貝萊斯芽孢桿菌)、安心寶® (放線菌)、一值生® (木黴菌) 等；此外目前亦尚有多種微生物如液化澱粉芽孢桿菌、多黏芽孢桿菌、木黴菌、放線菌、枯草桿菌及螢光假單胞細菌等正從事量產研究及商品化之開發。

拮抗植物

拮抗植物 (antagonistic plants) 因能分泌毒殺或抑制物質而具有忌避與拮抗植物線蟲與病原的功效。栽種拮抗植物或將其植體耕犁至土壤中可以抑制植物病原線蟲卵的孵化、二齡幼蟲的發育及蛻皮為成蟲，或是直接殺死植物病原線蟲的二齡幼蟲。通常以拮抗植物和作物輪作或間作即可有效地降低植物病原線蟲在土壤中的族群密度，進而減緩其對植物的危害，例如以紫花野百合 (*Crotalaria spectabilis*) 或萬壽菊和寄主植物胡蘿蔔輪作，可以有效地降低爪哇根瘤線蟲 (*Meloidogyne javanica*) 在土壤中的密度；而孔雀草 (*Tagetes patula*) 或太陽麻 (*Crotalaria juncea*) 和鳳梨輪作可降低腎形線蟲 (*Rotylenchulus reniformis*) 的密度等。此外拮抗植物植體 (包括花、莖、葉、及根) 的水溶液或酒精抽出液對植物病原線蟲亦有毒殺作用，而以切碎的植株殘體或是烘乾的植體粉末拌入田間土壤中，亦可有效地降低植物病原線蟲在土壤中的密度。例如大蒜葉及蒜瓣的浸出液對甘蔗葉芽線蟲 (*Aphelenchoides sacchari*) 及柑桔矮化線蟲 (*Tylenchorynchus semipenetrans*) 皆有毒殺作用，以印度黃檀 (*Dalbergia sisso*) 的切碎植體木屑單獨或混合苦楝樹 (neem, *Azardirachta indica*) 果實果仁粉末拌入田間土壤中，亦可有效地降低爪哇根瘤線蟲在土壤中的密度。

表 1. 目前臺灣市售有益微生物菌株防治植物病害種類與相關產品名稱

菌株	防治對象	產品名稱	公司
Bacillus amyloliquefaciens Ba-BPD1	蔬菜、草莓、花木灰黴病	農眾賀	台肥
Bacillus amyloliquefaciens CL3	蔬菜、草莓、花木灰黴病	神真水3號	興農
Bacillus amyloliquefaciens PMB01	萎凋病、青枯病	救你一命、絕症剋星	嘉農企業
Bacillus amyloliquefaciens QST713	萵苣露菌病	無界限	臺灣拜耳
Bacillus amyloliquefaciens Tcba05	菜豆萎凋病	菌力寶	福壽實業
Bacillus amyloliquefaciens YCMA1	甘藍黑斑病、柑桔類潰瘍病，延伸使用至多種病害	火山寶	百泰生技
Bacillus mycoides AGB01	水稻紋枯病、蘭黃葉病	治黃葉	聯發生技
Bacillus subtilis KHY8	檬果炭疽病、檬果細菌性黑斑病、稻熱病	我是救星、包山包海	嘉農企業
Bacillus subtilis WG 6-14	水稻徒長病	賜倍效	沅渼生技
Bacillus subtilis Y1336	水稻紋枯病、甘藍根瘤病、瓜類露菌病、豆科白粉病、番荔枝果腐病、蓮霧果腐病、檬果蒂腐病、茶赤枯病	台灣寶	百泰生技
Bacillus velezensis BF	水稻白葉枯病、十字花科黑腐病、草莓灰黴病、檬果細菌性黑斑病、柿灰黴病	強強菌	亞亮生技
Streptomyces candidus Y21007-2	疫病、荔枝露疫病、鳳梨心腐病	安心寶	百泰生技
Trichoderma virens R42	苗立枯病	一值生	寶林生技
Trichoderma gamsii ICC 080 + *Trichoderma asperellum* ICC 012	疫病	義定勇	易利特開發

其他有益微生物、生物刺激素

一、菌根真菌

菌根真菌與植物的根系共生，增強植物根系吸收礦物元素的能力，尤其是移動性緩慢的磷元素。應用囊叢枝內生菌根真菌 (vesicular arbuscular mycorrhizal fungi, VAMF) 如 *Glomus* spp.可以促進洋香瓜的產量並提高其品質。此外，有許多報告指出菌根菌亦具有增強植物抗病、抗旱、耐鹽等能力。

二、固氮根瘤細菌

一般植物無法直接利用空氣中的氮，豆科植物的根部有根瘤細菌 (*Rhizobium* spp.) 共生，可將空氣中的氮素固定與轉化供植物利用。

三、溶磷菌

具溶磷作用的真菌、細菌與放線菌則能增進土壤中結合性磷素的溶解，田間施用溶磷菌可提高農作物產量或品質，例如增加落花生產量、提高盆菊及百合的品質等。

四、溶鉀菌

具有把礦物性鉀分解為水溶性鉀能力的微生物，可加速土壤中不可溶性鉀鹽礦物釋放鉀素，並增加鉀肥吸收效果。由於含鉀礦物大多以矽酸鹽狀態存在，因此這類微生物又被稱為溶矽菌。

五、毒物降解菌

有些有益微生物具有分解植物代謝物質或其殘留物經分解後所產生的酚化物等具相剋物質 (allelopathic substance) 的功效，有助於克服作物

之連作障礙。此外，有些微生物 (如 *Rhizopus* sp.、*Trichoderma* spp.、*Penicillium* sp.、*Streptomyces* spp. 及 *Bacillus* sp.) 具有分解丁基拉草 (除草劑) 的能力，若土壤添加金針菇堆肥可促進微生物分解丁基拉草的效果，進而緩解土壤中殘留丁基拉草對稻田裡作或後作的豌豆植株產生不利的影響。

六、生物刺激素

包括一些物質或微生物，用於促進植物吸收營養的效率，增加植物對「非生物逆境 (如高溫、乾旱等環境逆境，而非針對病蟲害)」的抗性，或改善作物的品質，不管其營養成分如何。生物刺激素產品的種類很多，它可以是單一的化合物，也可以是從一個天然原料中萃取出的具有生物活性的混合物，也可以是微生物。目前國內外法規尚未給出明確定義的情況下，生物刺激素常採用排除法進行定義，即：生物刺激素既不是農藥，也不是肥料或植物生長調節劑。依其有效成分可區分為：游離胺基酸和其他含氮物質 (游離胺基酸、多肽、聚胺類等)、海藻萃取物 (包含多醣類、固醇類與含氮化合物)、酸類 (腐植酸)、殼聚糖和其他生物聚合物、無機鹽化合物 (主要以無機鹽類為主，如氯化物、磷酸鹽、亞磷酸鹽和碳酸鹽等)、微量元素、維他命和微生物類 (有益真菌、有益細菌)，其主要市場中以胺基酸為大宗，其次是海藻萃取物。

生物農藥施用技術

一般而言，源自微生物的生物農藥在實際應用上經常面臨一些問題，例如其防治效果不若化學農藥明顯而造成推廣不易，這與製成生物農藥之微生物種類、成分、劑型及保存有密切關係，此外，施用部位與施用時之植物的生長時期及施用時之氣候環境與施用時機等均會嚴重影

響生物農藥的防病效果。因此生物農藥的施用技術要點包括：(1) 注意田間衛生，務必移除前期作之殘枝落葉，進而減少病原菌的初次感染源；(2) 注意施用生物農藥時的氣候及施用時間，建議於午後 3 時後或陰天施用；(3) 注意生物農藥的施用部位與方法，以噴灑防治葉部病害，以種苗處理搭配澆灌防治根部病害；及 (4) 選擇適當微生物種類，如針對真菌性病原菌可使用木黴菌、放線菌或枯草桿菌屬等生物製劑，針對細菌性病原菌可使用假單孢菌、放線菌或枯草桿菌屬等生物製劑，針對植物病原線蟲可使用放線菌或菌根菌等生物製劑；(5) 施用時機，建議採預先處理，之後每 7−14 天施用一次。

實際應用的案例

一、微生物製劑不建議農友自行放大培養

因為農友不易將養菌的養料、水、容器等進行消毒，此外，這些微生物需要在特殊的培養條件下方可產生較多的抗菌物質。為達到良好的防病效果，不建議農友自行放大培養，若只是當作一般液肥使用則無妨。

二、微生物的施用方法

一般而言，可分為種子粉衣處理、育苗介質混拌處理、幼苗預處理、植株地上部噴施及植株地下部或土壤澆灌等方式。(1) 種子粉衣 (seed coating) 係將微生物依一定比例粉劑加水稀釋後，添加天然黏著劑調成薄糊狀，再將種子浸泡數分鐘，撈起後使種子自然風乾後播種使用；(2) 育苗介質混拌處理係將微生物與栽培介質依適當之體積比例或額外添加 2−5% 有機質均勻混合，將介質保持濕潤隨即播種或移植幼苗；(3) 將購買自育苗場之穴盤苗或盒苗，於移植至本田前預先噴施或澆灌微生物製劑；(4) 使用微生物時，亦需依每個微生物菌種特性及原

始菌量依一定比例稀釋後，添加天然展著劑作為植株地上部噴施及植株地下部或土壤澆灌使用。此外，目前市售之生物製劑商品中的微生物大都為處於休眠狀態之微生物，在使用前若有作醒菌的動作，其防治病害的效果更佳。一般含孢子之微生物可濕性粉劑建議於使用當天上午 (約 6 小時前) 先加水稀釋以促進微生物發芽；另外，含孢子之微生物液劑 (水懸劑) 建議於使用前一天下午 (約 24 小時前) 先加 0.5% (w/v) 糖蜜水稀釋 20 倍，活化微生物，並於使用當天下午再稀釋至推薦之倍數使用。

以木黴菌應用之例子，例如 (1) 種子粉衣，此方法較適合種子公司，主要需作雙層粉衣，主要是有些病原菌生長速度較木黴菌快，若僅單層，則病原可能在木黴菌尚未完全發揮保護下，已先感染作物根部，而致病害發生；(2) 育苗期施用：防治苗期病害，如立枯病或根腐病，可先利用粒劑 (木黴菌有效濃度約為 1×10^6 cfu/g) 與栽培土混合再播種種子，即可防治苗期大部分根部真菌病害；(3) 作物移植時使用：可以粒劑與上層栽培土混合，再種植植株幼苗；(4) 作物移植後使用：植株已定植田間，若根系尚未深入土中者，則可於植穴區周圍加入粒劑，或則施灑可濕性粉劑 (加水成孢子懸浮液，可稀釋至 3×10^6 cfu/g)；(5) 作物移植後使用：若根系已深入土中者，則可於根系區周圍施灑可濕性粉劑 (濃度同 4)，只是施用量較多。

另外以液化澱粉芽孢桿菌 P-2-2 防治草莓炭疽病為例 (圖 4、圖 5)，(1) 選擇健康草莓母株：於每年春分時節於本田挑選建康之草莓植株，或購買自專業育苗場之草莓植株作為繁衍走莖之母株，並以 200 倍稀釋之液化澱粉芽孢桿菌 P-2-2 水懸劑，噴濕草莓全株，特別是冠部，一旦冠部遭到炭疽病菌感染，草莓植株即容易死亡；(2) 育苗期施用：利用無特定病原之草莓母株，搭配每 1–2 週施用 400 倍稀釋之液化澱粉芽孢桿菌 P-2-2 水懸劑，培育健康草莓苗；(3) 消毒栽培介質或田土：利用瓦斯熱水器消毒栽培介質 (高架栽培)，或藉由淹水、添加有機質及

覆蓋透明塑膠布對田土進行殺菌處理。最後再施用 400 倍稀釋之液化澱粉芽孢桿菌 P-2-2 水懸劑於消毒後之栽培介質及田土，利用有益微生物先行布滿占據炭疽病菌可能感染草莓之生態區塊，防止炭疽病菌滋生繁殖；(4) 移植前使用：草莓幼苗若為杯苗或穴管苗，可以 400 倍稀釋之液化澱粉芽孢桿菌 P-2-2 水懸劑澆灌後移植至本田。草莓幼苗若為裸根苗，可以 400 倍稀釋之液化澱粉芽孢桿菌 P-2-2 水懸劑浸泡後移植至本田；(5) 移植後使用：草莓植株移植至本田後，每 1–2 週 以 400 倍稀釋之液化澱粉芽孢桿菌 P-2-2 水懸劑噴灑或滴灌於地上部或地下部。每分地使用液化澱粉芽孢桿菌 P-2-2 水懸劑 6 個月所增加成本不超過 1,800 元，卻可減少約 25,300 元的損失支出 (包含每分地補植草莓苗約 20,500 元，補植工資 4,800 元)。

圖 4. 利用液化澱粉芽孢桿菌 P-2-2 培育健康草莓種苗，配合田土消毒技術及田間衛生管理，有效防治草莓炭疽病。

圖 5. 未處理之對照田區，其草莓苗缺株嚴重。

三、生物刺激素的應用方法

生物刺激素可以應用於農業生產的不同階段，包括種子處理、植物生長期間以及採收後處理等。以殼聚糖 (chitosan) 為例，印度藏茴香種子以殼聚糖作滲調處理後在鹽分逆境 (12 dS/m) 下仍可順利發芽。利用殼聚醣作種子粉衣可以改變種子質膜的滲透性、增加糖和脯氨酸的含量、提高過氧化物酶活性。研究指出，逆境導致植物中脯氨酸的過量生產，進而通過維持細胞膨大或滲透壓平衡而賦予對逆境的耐受性。穩定膜，從而防止電解質滲漏；並使活性氧 (ROS) 的濃度在正常範圍內，從而防止植物細胞被氧化破壞。在菜豆 (*Phaseolus vulgaris*) 葉片的正反兩面噴灑 0.15% (w/v) 殼聚醣能夠激活植物自身的防禦機制以抵抗病原體的侵襲，並減少蒸散作用和氣孔開放。研究顯示，殼聚醣通過誘發過氧化氫 (H_2O_2) 的信號來觸發氣孔關閉。殼聚醣亦可以誘導各種植物組織積累木質素、癒傷葡聚糖、植物防禦素等，有助於提升植物防禦機制。殼聚醣也有抗菌功效，其可能機制為：殼聚醣的正電荷與病原真菌細胞膜的帶負電的磷脂成分相互作用，進而改變細胞膜的通透性並引起細胞內物質的滲漏，因此導致細胞死亡。殼聚醣與金屬離子螯合，與微量元素結合後，它使真菌無法獲得必需的營養物質從而中斷其正常的生長。在田間條件觀察施用殼聚糖對草莓果實的生長、果實產量和抗氧化活性的影響。與未處理的對照相比，在草莓上葉面施用殼聚醣可顯著提高植物生長和果實產量 (最高可提高 42%) (Rahman et al., 2018)。產量的增加歸因於較高的植物生長、單果重和單株總果重。與未處理的對照相比，噴灑殼聚糖的植物果實中的類胡蘿蔔素、花青素、類黃酮和酚類的含量也明顯更高 (高達 2.6 倍)。殼聚醣處理過的植物果實中的總抗氧化劑活性也顯著高於未處理的對照 (約 2 倍)。採收後的草莓浸泡殼聚醣溶液可延長其儲架壽命。施用殼聚醣至土壤可以改變根際微生物的族群數量，因其為含氮的多糖，可促進木黴菌屬、曲霉菌屬、枯草桿菌、放線菌與蘇力菌的生長，進而改善土壤的微生物族群。

參考文獻

1. 黃振文、葉彥良。2001。土壤添加金針菇堆肥促進微生物分解丁基拉草的証據。植物病理學會刊 10: 45−54。
2. 張峻齊、何玲玲。2020。全球生物刺激素領域之產業發展與應用現況。農業科技決策資訊平台 https://agritech-foresight.atri.org.tw/article/list/13/
3. 農藥資訊服務網。2021.03。https://pesticide.baphiq.gov.tw/web/Insecticides_MenuItem5_3.aspx
4. Chen, H. W., Lin, Y. H., Huang, J. W., and Chang, P. F. 2010. Effect of *Bacillus mycoides* on seedlings growth of lettuce. Plant Pathol. Bull. 19: 157-165.
5. Chiou, A. L. and Wu, W. S. 2003. Formulation of *Bacillus amyloliquefaciens* B190 for control of lily grey mould (*Botrytis elliptica*). J. Phytopathol. 151: 13-18.
6. Hsieh, F. C., Li, M. C., Lin, T. C. and Kao, S. S. 2004. Rapid detection and characterization of surfactin-producing *Bacillus subtilis* and closely related species based on PCR. Curr. Microbiol. 49:186-191.
7. Hsieh, F. C., Lin, T. C., Li, M. C., and Kao, S. S. 2008. Comparing methods for identifying *Bacillus* strains capable of producing the antifungal lipopeptide iturin A. 2008. Curr. Microbiol. 56:1-5.
8. Huang, H. C., and Erickson, R. S. 2007. Effect of seed treatment with *Rhizobium leguminosarum* on Pythium damping-off, seedling height, root nodulation, root biomass, shoot biomass and seed yield of pea and lentil. J. Phytopathol. 155: 31-37.
9. Idris, E. E., Bochow, H., Ross, H. and Borriss, R. 2004. Use of *Bacillus subtilis* as biocontrol agent. Vl. Phytohormone-like action of culture filtrates prepared from prowth-promoting *Bacillus amyloliquefaciens* FZB24, FZB42, FZB45 and *Bacillus subtilis* FZB37. J. Plant Dis. Prot. 111: 583-597.
10. Mahdavi, B., and Rahimi, A. 2013. Seed priming with chitosan improves the germination and growth performance of ajowan (*Carum copticum*) under salt stress. Eurasia J. Biosci. 7: 69−76.
11. Rahman, M., Mukta, J. A., Sabir, A. A., Gupta, D. R., Mohi-Ud-Din, M., Hasanuzzaman, M., Miah, M. G., Rahman, M., and Islam, M. T. 2018. Chitosan biopolymer promotes yield and stimulates accumulation of antioxidants in strawberry fruit. PLOS ONE 13(9): e0203769. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0203769